Journal of Radiation Industry 10(3) : 161~165(2016)

Technical Paper

G-M 계수관과 ^{137}Cs 선원을 이용한 납 반가층의 실험적 연구

권 대 철[1] · 동 경 래[2,*]

[1]신한대학교 방사선학과, [2]광주보건대학교 방사선과

Experimental Study Using of a G-M Counter and ^{137}Cs Source to Measure the HVL with Lead

Dae Cheol Kwoen[1] and Kyung-Rae Dong[2,*]

[1]*Department of Radiological Science, College of Health Science, Shinhan University, 95, Hoam-ro, Uijeongbu-si, Gyeonggi-do 11644, Republic of Korea*
[2]*Department of Radiological Technology, Gwangju Health University, 683-3 Shinchang-dong, Gwangsan-gu, Gwangju 62287, Republic of Korea*

Abstract - HVL (half-value layer) of lead was measured experimentally using a lead and ^{137}Cs (370 kBq) source and a G-M counter in which is used a lot of material for shielding HVL measured. ^{137}Cs in holder to 10 cm and start measuring the radiation. Continue addition of lead of the lead thickness of 1 mm one by one to continue the measurement. By measuring four times the natural radiation of 100 seconds and records the count value and the average rate to be displayed on the meter. Background radiation was a 4 times a count rate and the average 108 (100 s^{-1}) as a result of measuring the average measurement, the standard deviation was determined to be 1.08 (s^{-1}). An increase in the thickness of lead initial count rate starting from 920 (N) count rate is decreased with increase in the thickness of lead. Net counting rate, starting with the initial 8.12 (s^{-1}) showed a decrease with increasing thickness, the standard deviation of the results was decreased from 0.303 (s^{-1}) to 0.196 (s^{-1}). Net counting rate is reduced to obtain the result that each half thickness of nappan about 7 mm. Was reduced similarly to the exponential function graph correlation coefficient (R^2) was found to be 0.9869. Half-value layer which is the initial net counting rate 7.514 (s^{-1}) is a half the 7 mm to 3.757 (s^{-1}). In conclusion, it was confirmed the theoretical HVL of lead 7.19 mm and experimentally measured results matched the measured HVL 7 mm.

Key words : ^{137}Cs, G-M counter, Half value layer, Lead

서 론

방사선 선속의 강도는 거리에 의해 감약이나 물질과 상호작용에 기초한 흡수와 산란의 원인으로 감약(attenuation)된다. 방사선의 선속의 세기를 절반으로 감소시키는 흡수물질의 두께를 반가층(HVL: half value layer)으로 정의하고 있다. 반가층은 엑스선 빔의 투과 정도의 측정수단으로 사용되며 두께가 두꺼울수록 투과력이 크다는 특징이 있다. 방사선의 선질은 흡수체의 두께인 반가층으로 규정하며, 이러한, 반가층의 실제적인 의미는 두께가 아니라 두께를 투과할 수 있는 정도를 의미한다.

피폭을 감소시키고 양질의 영상을 얻기 위해서는 X선 발

* Corresponding author: Kyung-Rae Dong, Tel. +82-62-958-7668, Fax. +82-62-958-7669, E-mail. krdong@hanmail.net

생장치에서 발생하는 X선 광자의 투과력 즉 선질이 우수하여야 하며 선질의 분석을 위해 반가층 측정이 필요하다 (Kim *et al*. 2011). 반가층을 변화시키는 요인으로는 초점과 반가층 측정용 물질 간 거리, 초점과 선량계 간 거리, 조사야 크기, 관전압, 여과판의 사용 유무와 두께, 재질이 있다. 엑스선관의 초점에서 발생되는 엑스선은 불균등 엑스선으로 에너지가 낮은 광자들은 흡수로 인하여 환자의 피폭선량을 증가시키고 있으므로 이를 제거할 필요가 있다. 따라서 낮은 에너지의 광자들을 흡수 제거할 목적으로 여과를 시키고 있으며 여과를 어느 정도 시키느냐 하는 것은 반가층을 측정하여 알 수 있다.

반가층의 두께가 두꺼울수록 두께를 투과할 수 있는 투과력이 큰 것이다. 반가층은 선질을 대표하는 인자로, 흡수 물질에 따라 반가층의 두께가 다르며, 여과 능력을 나타내는 반가층에 대한 측정이 필요하다(Dong *et al*. 2010). 불균질한 방사선에서 저에너지를 흡수로 인하여 환자의 피폭선량을 증가시키고 있으므로 이를 제거할 필요가 있다. 따라서 저에너지의 광자들을 흡수 제거할 목적으로 여과를 시키고 있으며 여과의 정도를 결정하는 선질을 평가하는 목적으로 반가층을 측정하고 있다.

반가층은 선질에 영향을 지대하게 미치므로 반가층 측정을 위해 차폐물질로 많이 이용되는 납(lead)과 ^{137}Cs의 방사선 선원 및 G-M 계수관을 이용하여 납의 반가층을 실험적으로 측정하였다.

재료 및 방법

1. Cesium-137

세슘(Cs)은 원자량 112~151 사이에 30여 종의 동위원소가 존재하는 것으로 알려져 있으며 자연상태에 존재하는 안전 동위원소인 ^{133}Cs을 제외한 다른 동위원소는 핵반응을 통해 생성된 방사성 동위원소로 대부분 반감기가 매우 짧다(Gaur 1993; Zhang *et al*. 2009). ^{137}Cs은 세슘의 방사성동위원소의 하나이다. 또한 반감기 30.0년으로 최대 에너지 1.176 MeV (5.4%), 0.514 MeV (93.5%)의 β선을 수반하여 붕괴하는 핵종이며 핵이성질체 전이에 의하여 안정된 ^{137}Ba이 된다(Fig. 1).

^{137}Cs 원자핵은 베타(β^-) 붕괴를 거쳐 질량수는 같으나 원자번호가 하나 증가한 바륨(Ba) 원자핵으로 전환된다. 이때 생성되는 바륨 원자핵의 95%는 준안정상태인 ^{137m}Ba이다. ^{137m}Ba은 비교적 강한 감마선을 방출하고 안정한 ^{137}Ba으로 되며 반감기는 2.55분으로 ^{137}Cs이 안정한 바륨으로 변할 때 방출하는 661.6 keV의 감마선에 의한 것이다(Jeong *et al*. 2016).

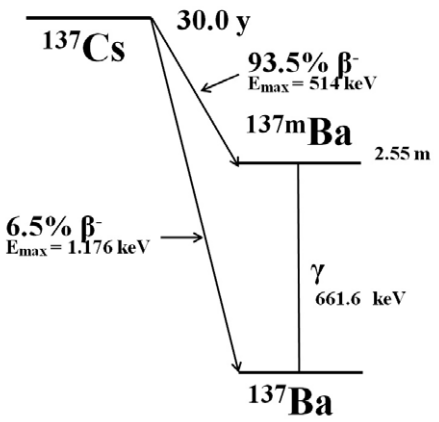

Fig. 1. Diagram of the decay of Cesium-137.

2. 반가층(half value layer)

입사 에너지의 50% 감약된 주어진 물질의 두께가 반가층이다. 반가층의 단위는(mm 또는 cm) 단위로 감약계수(attenuation coefficient)에 의존하는 광자에너지이다. 반가층은 흡수체를 투과 후의 강도가 투과 전의 강도의 반이 되는 흡수두께로 반가층의 실제적인 의미는 두께가 아니라 그 두께를 투과할 수 있는 정도를 의미한다. 따라서 반가층의 두께가 두꺼울수록 그 두께를 투과할 수 있는 투과력이 큰 것이다. 반가층을 변화시키는 요인은 다양하며, 초첨-반가층 측정용 물질 간 거리, 초점-선량계 간 거리와 조사야 크기, 관전압 및 여과판의 사용 유무와 두께와 재질이다. 절반 두께의 절반 원래 강도의 방사선의 입사 빔을 줄이기 위해 필요한 재료의 두께이다. 반가층은 방사선이 물질과의 상호작용인 광전 효과, 컴프턴 효과, 전자쌍생성을 통해 에너지를 소실한다. 이러한 방사선의 빔의 강도(I)를 따라 두께(X)는 감소하며 식 1과 같이 정의한다.

$$I(X) = I_0 e^{-\mu X} \tag{1}$$

여기서 μ는 선형감약계수이고, μ의 값은 물질의 종류 및 감마선 에너지에 의존한다. 이 계수는 또한 절반 두께의 관점에서 표현될 수 있으며 식 2와 같다.

$$\mu = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} \quad \text{where} \quad T_{\frac{1}{2}} = \text{half value layer} \tag{2}$$

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln 2}{\mu}$$

3. 측정 방법

G-M 계수관의 검출 가능한 방사선은 알파선, 베타선, 감마선이 있고 윈도우의 두께는 1.5~2.0 mg cm^{-2} 정도이고,

Fig. 2. Experimental use for equipment. a. Radioactivity 370 kBq of cesium 137. b. G-M counter.

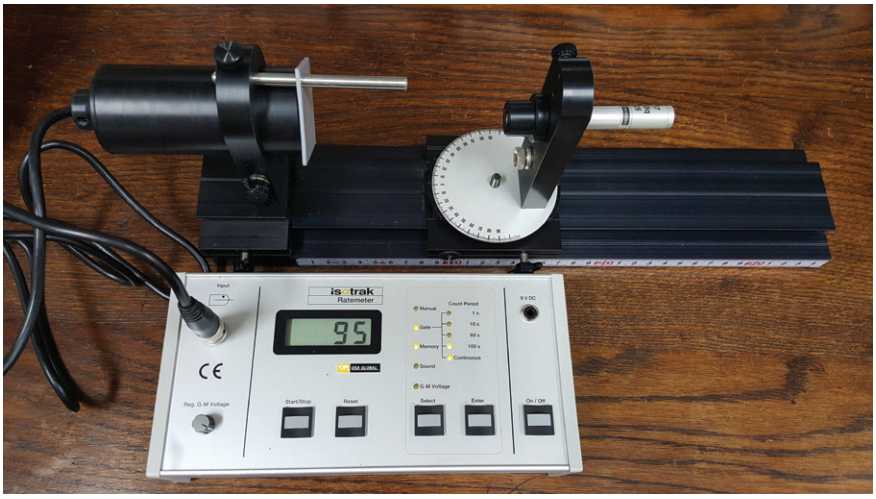

Fig. 3. Apparatus used of G-M counter and rate meter for measuring the HVL of ^{137}Cs.

원도우 유효부의 직경은 ^{137}Cs 선원의 370 kBq에서는 9 mm 정도이다(Fig. 2).

G-M 계수관을 클램프를 사용하여 가대에 고정하여 실험을 위해 설치한다. G-M 전압조정 볼륨을 돌려 인가전압은 G-M 계수관의 동작 특성에 따라 계수율 측정이 효율적인 500 V로 설정하였다. 인가전압 설정 후에는 계수시간을 선정한다. 광학대의 시료를 가대 위에 ^{137}Cs (370 kBq)을 약 10 cm에 위치시키고 방사선을 측정을 시작한다 (Fig. 3). 계속하여 납을 두께 1 mm의 납을 한 개씩 더하여 측정을 계속한다. 측정 결과의 계수값(N)을 기록한다. 자연방사선을 100초 단위로 4회 측정하여 rate meter에 표시되는 계수값(N)과 평균을 기록한다.

결 과

G-M 계수관을 이용하여 ^{137}Cs 선원을 장착하지 않고 실험하여 자연방사선을 4회 측정한 계수값과 평균을 측정한 결과로 평균 108 (100 s^{-1})이었고, 표준편차는 1.08 (s^{-1})로 측정되었다(Table 1).

Table 1. Results of measured of the background radiation

Trial	Time (sec)	Count (N)
1	100	107
2	100	111
3	100	97
4	100	117
Sum (N)	400	432
Mean (100 s^{-1})	108 ± 1.08	
Mean background count rate (s^{-1})	1.08 ± 0.0519	

G-M 계수관을 이용하여 ^{137}Cs 선원을 장착하여 정미계수율(net counting rate)과 표준편차(SD)를 측정하였다. 납의 두께가 증가하면 초기 계수값은 920 (N)에서 시작하여 납의 두께가 증가함에 따라 계수값은 감소하였다. 정미계수율은 초기 8.12 (s^{-1})에서 시작하여 두께가 증가함에 따라 감소함을 보였고, 표준편차는 0.303 (s^{-1})에서 0.196 (s^{-1})으로 감소

한 결과를 보였다(Table 2).

차폐 두께에 대한 정미계수율을 이용하여 두께에 따른 정미계수율을 도식화하였다. 방사선이 납에 흡수될 때에는 지수함수에서 감소한다는 것을 알 수 있다. 정미계수율이 납판의 두께 약 7 mm마다 반절로 감소하는 결과를 획득하였다. 지수함수 그래프와 비슷하게 감소하였으며 상관계수(R^2)는 0.9869로 나타났다(Fig. 4).

납의 두께를 d_H라고 하면 흡수계수(k)는 계산식에서 $k=(\ln 2)/d_H$에서 $k=0.693/7=0.099$가 된다. 따라서 정미계수율(R)은 흡수물질의 두께에 따라 다음 식으로 나타낸다.

$$R=(7.514\cdot e^{-0.099\cdot d})\,(s^{-1}) \quad (3)$$

정미계수율과 납의 두께에 따른 편대수를 직접 대입하여 그래프로 거의 직선에 가깝게 나온다. 초기 정미계수율 7.514 (s^{-1})이 반이 되는 반가층 d_H는 $R_0=7.514/2=3.757$ (s^{-1}) 값으로 가로축의 교차점이 7 mm 된다 (Fig. 5).

Table 2. Results of measured decay with ^{137}Cs

Lead thickness (mm)	Count (N)	Net counting rate (s^{-1})	SD (s^{-1})
0	920	8.12	0.303
1	768	6.6	0.277
2	710	6.02	0.266
3	685	5.77	0.261
4	590	4.82	0.242
5	553	4.45	0.235
6	492	3.84	0.221
7	485	3.77	0.220
8	453	3.45	0.212
9	386	2.78	0.196
10	385	2.77	0.196

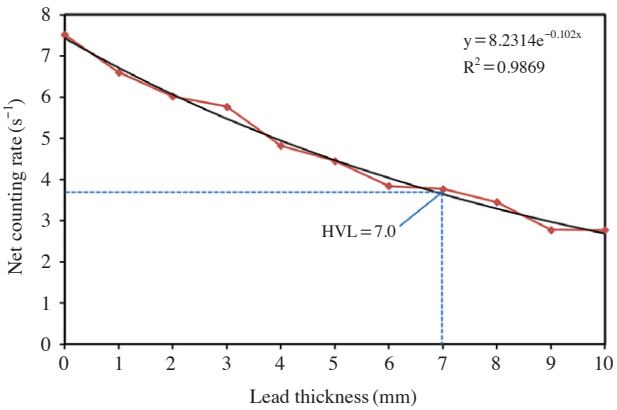

Fig. 4. Comparison between the ideological and the experimental HVL for different lead thickness.

고 찰

방사선 기기에 필터를 장착하여 저에너지 방사선을 최소화하고, 환자에게 불필요한 선량으로 피폭을 방지하고 균일하게 조사하여 진단에 필요한 영상의 질 향상과 함께 방사선의 선질을 향상시킨다. 이러한 선질을 나타내는 것이 반가층으로 영상의학과 및 방사선 기기 분야에서는 품질관리 항목에 적용되어 응용되고 있다(Chen *et al*. 2012). 방사선 발생장치의 성능의 항목에 반가층을 추가하여 관리하고 있으며, 장비 사용의 효율성을 극대화할 수 있으며, 방사선 피폭선량을 줄임과 동시에 영상의 화질을 향상시킬 수 있어 정확한 진단에 기여할 수 있다(You *et al*. 2012). 방사선을 이용하여 반가층을 측정하여 선질의 평가는 장치 및 기기의 효율적이고 지속적인 품질관리를 통해 질 높은 영상을 제공하고 최소한의 선량으로 최대의 효율을 얻을 수 있어 정도 관리 및 성능 관리에 활용되고 있다. 반가층은 방사선의 강도를 50%로 감소시키는 데 필요한 흡수물질의 두께를 의미하며 흡수물질로는 순수한 납을 사용하였다(Kim *et al*. 2011).

방사선의 선질을 나타내는 반가층은 핵종의 선원에 따라 다양하게 나타난다. 이러한 선원은 ^{137}Cs과 G-M 계수관을

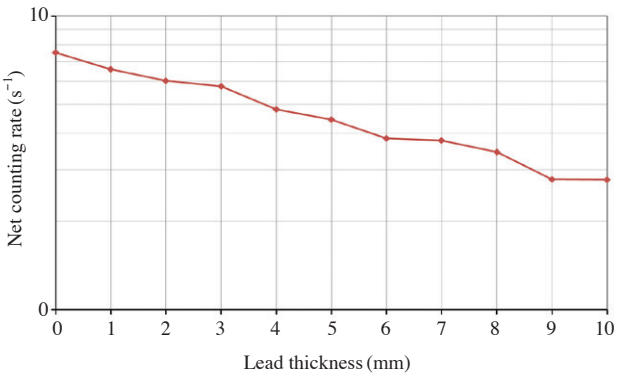

Fig. 5. Semi-log graphy according to the lead thickness and net counting rate.

Table 3. Lead shielding data in the ICRP 107 nuclear decay data set (Smith *et al*. 2012)

Nuclide	Exposure rate constant			Lead attenuation thickness (mmPb)		
^{137}Cs*	C m^2 kg^{-1} MBq s 6.64×10^{-13}	C m^2 kg^{-1} MBq s 3.43	*f*-factor (cGy R^{-1}) 0.962	HVL 7.19	QVL 13.7	TVL 21.8

*Data based on emissions of progeny ^{137m}Ba
HVL: half value layer, QVL: quarter value layer, TVL: tenth value layer

이용하여 이론적으로 ^{137}Cs의 납에 대한 반가층(7.19 mm), QVL(13.7 mm), TVL(21.8 mm)로 보고되어 있다(Eckerman *et al*. 2008; Smith *et al*. 2012).

자연방사선은 선원의 방사성 붕괴에 따른 측정으로 오류가 따르는게 일반적인 현상이다. 이러한, 오류측정의 작은 부정확성으로 이어질 수 있다. 자연방사선을 방출 많은 방사성물질, 우주선에서 우리의 대기권에 진입우주에서 자연방사선은 추가된다. 방사선 검출은 활동 및 지수함수 그래프에 정확도를 하락시킨다. 그러나 이러한 오류를 감소하기 위해 ^{137}Cs 선원을 제거하고 측정하여 자연방사선을 제가한 상태에서 측정하여 보정할 수 있다(Kweon *et al*. 2014).

반가층에 대한 이론적인 ^{137}Cs 선원의 납의 반가층은 7.19 mm이고 실험결과는 7 mm로 정확도는 일치하였다(Table 3). 납의 반가층과 이론적인 두께와 실험적인 차이는 약 0.19 mm가 존재하였다. 이러한 납의 두께의 차이가 존재하며 다음과 같다. 첫째, 자연방사선의 평균 계수값은 111로 차폐된 실험실이 아닌 자연방사선이 존재하는 실험 환경에 따라 자연방사선 계수값의 차이가 존재하였다. 실험실 환경에 대한 자연방사선의 영향을 받고 있어 가장 이상적인 조건은 자연 방사선이 계측되지 않는 곳이 가장 좋지만 실험여건상 그런 조건을 충족할 수 없었기에 자연 방사선 평균 계수치를 측정하여 각 데이터마다 제거해 주는 방식을 사용하였다. 둘째는 실험 방법에 의한 것으로 사용했던 G-M 계수관과 ^{137}Cs 선원의 영향으로 계수 차이가 존재하였다. 셋째는 납의 두께를 1 mm 간격으로 제작하여 정밀한 반가층의 측정은 어려움이 존재하였다. 넷째는 반가층의 실험적 연구를 AktivLab^{TM} 기기를 이용하여 실험실에서 G-M 계수관을 이용하여 측정에는 많은 제한이 있었다.

결 론

방사선의 선질을 평가하는 중요한 요소인 납의 반가층을 실험적으로 측정하기 위해 ^{137}Cs 선원과 G-M 계수관을 이용하였다. 결론적으로, 이론적인 납의 반가층 7.19 mm과 실험적으로 측정한 반가층 7 mm와 일치하는 측정 결과를 확인하였다.

참 고 문 헌

Chen SC, Jong WL and Harun AZ. 2012. Evaluation of X-Ray Beam Quality Based on Measurements and Estimations Using SpekCalc and Ipem78 Models. *Malays J. Med. Sci*. **19**(3):22-8.

Dong KR, Lee SJ, Kweon DC, Goo EH, Jung JE and Lee KS. 2010. Actual condition of quality control of X-ray imaging system in primary care institution: focused on Gwangju Metropolitan city. *J. Radiat. Protect*. **35**(1):34-42.

Eckerman K and Endo A. 2008. ICRP Publication 107. Nuclear decay data for dosimetric calculations. *Ann. ICRP*. **38**(3):7-96.

Gaur S. 1993. Determination of Cs-137 in environmental water by ion-exchange chromatography. *J. Chromatogr. A*. **733**(1):57-71.

Jeong BJ, Son BY, Ahn CH, Lee SW, Ahn JC, Kim BS and Chung DM. 2016. Study on removal of cesium in water treatment system. *J. Korean Soc. Environ. Eng*. **38**(1):8-13.

Kim YP, Cheon MW and Park YP. 2011. Characteristic evaluation of medical X-ray using high-voltage generator with inverter system. *J. KIEEME*. **24**(10):36-41.

Kweon DC, Choi JW, Dong KR, Chung WK, Song HJ and Kim YJ. 2014. Use of a GM counter to measure the half-life of Ba-137m generated by using isotope generator. *J. Korean Phys. Soc*. **65**(4):532-540.

Smith DS and Stabin MG. 2012. Exposure rate constants and lead shielding values for over 1,100 radionuclides. *Health Phys*. **102**(3):271-291.

You IG, Lim CH, Lee SH and Lee MK. 2012. Performance measurement of diagnostic X ray system. *J. Korean Soc. Radiol*. **6**(6):447-454.

Zhang CP, Gu P, Zhao J, Zhang D and Deng Y. 2009. Research on the treatment of liquid waste containing cesium by an adsorption-microfiltration process with potassium zinc hexacyanoferrate. *J. Hazard Mater*. **167**(1):1057-1062.

Received: 1 August 2016
Revised: 27 August 2016
Revision accepted: 5 September 2016